

**Die thermische Regeneration von Aktivkohlefiltern
nach Gebrauch zur Halothane- und
Enfluraneadsorption**

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Wolfgang Dierkes

1983



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548402_0007

Aus dem Institut für Anästhesiologie
der Universität Düsseldorf (Leiter: Prof. Dr. med. M. Zindler)

**Die thermische Regeneration von Aktivkohlefiltern
nach Gebrauch zur Halothane- und
Enfluraneadsorption**

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Wolfgang Dierkes

1983

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez. Prof. Dr. P. Hüttenberger

Referent

gez.: Prof. Dr. M. Zindler

Korreferent

gez. Prof. Dr. F. K. Ohnesorge

Inhaltsübersicht

	Seite
1) Einleitung und Zielsetzung	3
2) Methodik	5
2.1 Untersuchungsgut	5
2.2 Untersuchungsgang und Geräte	6
3) Ergebnisse	9
4) Diskussion	19
4.1 Kohleformen	19
4.2 Desorptionsverhalten	19
4.3 Desorption in der Industrie	22
4.4 Zur Frage des Halothanerecyclings	23
5) Zusammenfassung	24

1. Einleitung

Seit der Veröffentlichung von Lindenbaum et al. aus dem Jahre 1963 wurde vermutet, daß chronische Narkosedampfexposition beim Menschen Gesundheitsschäden verursachen kann. Diese Vermutung wurde durch eine Reihe späterer Untersuchungen gestützt.

Im einzelnen wurden folgende Schäden am Menschen beschrieben:

- 1) Leberveränderungen (Lindenbaum et al. 1963, Belfrage et al. 1966, Klatskin et al. 1969, Dykes et al. 1970.)
- 2) Maligne Entartungen des lymphatischen und retikuloendothelialen Systems als mögliche Folge chronisch inhalierter Anaesthetika (Bruce et al. 1968)
- 3) Eine erhöhte Abort- und Frühgeburtsrate als mögliche Schädigungsfolge (Cohen et al. 1971)
- 4) Teratogene Effekte nach chronischer Halothanebelastung konnten bei Menschen nicht nachgewiesen werden (Askrog et al. 1970) obwohl 1968 Basford et al. teratogene Effekte an Ratten beschrieben hatten.

Nach Dudziak (8) ist eine hepatotoxische Wirkung noch nicht endgültig erwiesen, aber doch nicht unwahrscheinlich.

Diese Untersuchungen ließen frühzeitig die Forderung nach einem Schutz des Personals in Operationsräumen laut werden, zumal erhöhte Halothanewerte im Blut des Op-Personals nachgewiesen wurden (Hallen et al. 1970). Es wurde gefordert, Halothane am Arbeitsplatz nicht über eine maximale Konzentration von 5 ppm ansteigen zu lassen (Henschler). Am besten reduziert eine zentrale Narkosegasabsauganlage die Narkosedampfexposition.

Ihr Einbau in älteren Gebäuden erfordert aber kostspielige bauliche Veränderungen.

Die Benutzung von Aktivkohlefiltern kann diese baulichen Veränderungen ersparen. Sie verhindern den Austritt volatiler Anästhetika in die Operationssaalathmosphäre durch Bindung der halogenierten Kohlenwasserstoffe hinter dem Auslaßventil des Narkosesystems (Vaughan et al. 1973). Ihre Aufnahmekapazität ist jedoch beschränkt und reicht für etwa 6-8 Stunden Narkosedauer aus. Danach werden die gebrauchten Filter weggeworfen (Eichler et al. 1972). In der Praxis ist oft zu beobachten, daß der Filterpreis und die Unsicherheit, ob die Filterkapazität schon verbraucht ist, den rechtzeitigen Wechsel behindert, und deswegen das Ziel der Pollutionsverhinderung nicht erreicht wird.

Das häufige Wechseln von Aktivkohlefiltern ist tatsächlich ein Kostenproblem. Im Zuge der Kosteneinsparung erscheint die Frage nach der evtl. Wiederverwendbarkeit von Aktivkohlefiltern angebracht.

Capon hat 1974 die Möglichkeit beschrieben, verschieden geformte Narkotikafilter aus Aktivkohle durch Erhitzung in einem Autoklaven "Drayton and Castle MK8" über 2 mal 17 Minuten mit anschließenden Vakuumphasen wieder für die Adsorption von Halothane verwendbar machen zu können. Es ist nicht geprüft worden, ob dies mit den Narkotikafiltern von Dräger und anderen Sterilisatoren, wie sie in Deutschland in der Kliniksroutine verwendet werden, ebenso möglich ist.

Es sollte deswegen in dieser Arbeit folgende Fragestellungen untersucht werden.

- 1) sind Dräger Narkotikafilter 633 durch Hitze regenerierbar?
- 2) Wenn ja, benötigt man dazu Spezialgeräte oder geht das mit bereits in der Klinik vorhandenen Geräten.
- 3) lassen sich die Parameter abgrenzen, die notwendig sind, um eine Desorption durchzuführen?

2. Methodik

2.1 Untersuchungsgut

Es wurden 52 Narkotikafilter 633 der Firma Dräger untersucht. (ABBILDUNG 1)

Diese Filter werden hinter dem Auslaßventil des Narkosekreissystem 7a eingebaut. Sie binden die halogenierten Kohlenwasserstoffe z.B. Halothane durch Adsorption.



Abb.1: Dräger-narkotikafilter

Die Filter bestehen aus einem Metallgehäuse mit dem Durchmesser von 10 cm ohne Falznaht und einer Höhe von 5,5 cm. Boden und Deckel sind in regelmäßiger Anordnung perforiert, so daß Gas ein- und austreten kann. Auf

Boden und Deckel sind mit Vlies belegte Drahtnetze aufgelegt, um das Austreten der Aktivkohleteilchen zu verhindern. Das Leergehäuse wiegt ca. 50g, die Füllung ca. 180g. Die Füllung besteht aus geformten Aktivkohlezylindern der Kantenlänge 3mm und dem Durchmesser von 1mm.

2.2 Untersuchungsgang und Erhitzungsgeräte

Die Filteruntersuchungen folgten einander gemäß einer logischen Reihenfolge.

2.2.1 Die Untersuchung auf einer Herdplatte sollte die Frage klären, ob durch Hitzeeinfluß Substanzen aus dem Filter freigesetzt würden.

Die genaue Temperatur der Herdplatte wurde nicht gemessen.

2.2.2 Da die Herdplatte keine homogene Erhitzung der Filter ermöglichte, folgte die Erhitzung in einem Heißluftsterilisator Heraeus 5050. Es wurden 3 Temperaturstufen 150°, 170° und 190° C 180 Minuten lang eingestellt. Diese Zeit wurde nur kurz zum Zweck von Gewichtsbestimmungen unterbrochen. Druck und Luftfeuchtigkeit blieben konstant.

2.2.3 Den Heißluftbackofen der Firma Quelle Art.-Nr. 0135368 arbeitet mit bewegter Luft, die nach außen gedrückt wird. Hier wurden die nächsten Untersuchungen bei gleichen Temperaturen und Zeiten durchgeführt.

2.2.4 Die Auswirkung von Erhitzung und Vakuumphasen auf die Desorption wurde in einem Dampfvakuumsterilisator mit 4 beladenen Filtern untersucht.

Der Dampfvakuumsterilisator MMM-Selectomat 1000 arbeitet nach dem fraktionierten Vakuumverfahren. Es existieren 2 Sterilisierprogramme. Das eine Programm heizt zwischen 120° und 130° C für 17 Minuten mit anschließendem 5-minütigem Vakuum. Das zweite Programm heizt 7 Minuten lang bei 134° C und gleicher Vakuumphase wie das erste Programm. Aufgeheizt wird mit Hilfe gespannten Dampfes. Das Vakuum das zur Anwendung kommt, beträgt minus 1 bar.

2.2.5 Ein Äthylenoxidsterilisator arbeitet mit dem desinfizierenden Gas Äthylenoxid bis zu einer Temperatur von 60° C. Anschließend wird der Sterilisiererraum durch ein Vakuum von 1 bar abgesaugt.

2.2.6 Im zweiten Teil der Untersuchung sollten folgende zusätzliche Fragen mit Hilfe einer Thermowaage (*) geklärt werden.

- 1) Wie hoch sollte die Temperatur mindestens sein, um eine vollständige Desorption zu erreichen?
- 2) läßt sich eine Desorptions-Zeitkonstante bestimmen?
- 3) besteht ein Unterschied im Sorptionsverhalten zwischen Halothane und Enflurane?

(*) Dank gebührt Dr. Seewald und Herrn Bongartz aus dem Bergbauforschungsinstitut in Essen für die Unterstützung bei der Untersuchung mit der Thermowaage als auch für die Diskussion um die Sorptionsabläufe der Aktivkohle.

In einer Thermowaage liegt das Untersuchungsgut innerhalb von Heizwindungen des Reaktionsraumes auf einem Platinnetz, das von einem konstanten Heliumstrom mit 13 l pro Stunde durchspült wird. Es ist eine Beheizung mit programmierter konstanter Aufheizgeschwindigkeit möglich.

Die beladenen Aktivkohlekörner wurden 2 Untersuchungsgängen unterzogen. In der ersten Untersuchung wurde das Korn mit einer Erhitzungsgeschwindigkeit von 6°C pro Minute bis zu einer Temp. von 600°C erhitzt. Das abgelöste Adsorpt (Halothane, Enflurane) wurde von dem Heliumspülflow weggeführt. Der angeschlossene Schreiber zeichnete die gemessenen Gewichtsveränderungen temperaturabhängig auf.

Um die Desorptionswirkung der konstanten Temperatur von 120°C zu untersuchen, wurde im zweiten Untersuchungsgang bis 120°C mit 6°C pro Minute aufgeheizt, die Temperatur 45 Minuten konstant gehalten, und anschließend bis 500°C weiteraufgeheizt.

Auch hier wurde mit Hilfe eines Heliumspülgasflows das abgelöste Adsorpt weggeleitet.

Anschließend wurden die Schreiberdiagramme ausgewertet (Abb. 4,5 und 6).

2.2.7 Gewichtsbestimmungen in den Untersuchungen 2.2.1-2.2.5 wurden mit Hilfe der Waage Ohaus durchgeführt.

3. Ergebnisse

Zu den Untersuchungsgängen 2.2.1 bis 2.2.5 wurden nur Halothanebeladene Filter verwendet. In dem Untersuchungsgang 2.2.6 (Thermowaage) wurden zusätzlich Enflurane beladene Aktivkohlefilter untersucht.

3.1 Vorversuche auf der Herdplatte

Die Erhitzung halothanebeladener Filter verursachte einen halothaneähnlichen Geruch. Dieses Phänomen sprach für einen Desorptionsvorgang.

Frische Filter zeigten dieses Verhalten bei Erwärmung nicht. Gewichtsvergleiche der beladenen Filter vor und nach Erhitzung zeigten deutliche Unterschiede.

- 3.2 Im Heißluftsterilisator Heraeus wurden insgesamt 21 beladene Filter in 3 Gruppen - nämlich bei 150°, 170° und 190° C untersucht. Die Gewichtsbestimmung erfolgte nach 30 bzw. 60 Minuten. Um die Gewichtsveränderungen der Filter miteinander vergleichen zu können, wurde der Gewichtszuwachs durch Adsorption (Gewicht des beladenen Filters minus Gewicht des Frischfilters) zur Grundlage der Prozentberechnung gemacht, d.h. ein erhitzter Filter, der sein Frischgewicht erreichte, hatte 100% Gewichtszunahme verloren, und ein erhitzter Filter, der nach Erhitzung gleich schwer geblieben war, 0 % Gewichtszuwachs verloren.
- Die Beladung und der Austausch der Filter erfolgte gemäß der Gebrauchsvorschrift von Dräger. Sie gibt an, daß die Filter bei einer durchschnittlichen Dosierung von 1 % Ethrane oder Halothane und einer Frischgaszufuhr von etwa 4 l /min für 6-8 Narkosestunden ausreichend seien. Die Filter kamen unterschiedlich stark beladen zur Untersuchung.

Abb. 2 zeigt ein Diagramm, in dem Gewichtsverlust in Prozent gegen Zeit in Minuten aufgetragen wurde. Es wird deutlich, daß der Gewichtsverlust parallel zur Erhitzungsdauer verläuft. Die Streuung der Desorptionsrate ist erheblich. Die höhere Temperatur und die Erhitzungsdauer scheinen die Desorption zu fördern. Die genaue Desorptionsmenge bezogen auf Temperaturen oder Erhitzungsdauer läßt sich nicht genau definiert vorherbestimmen.

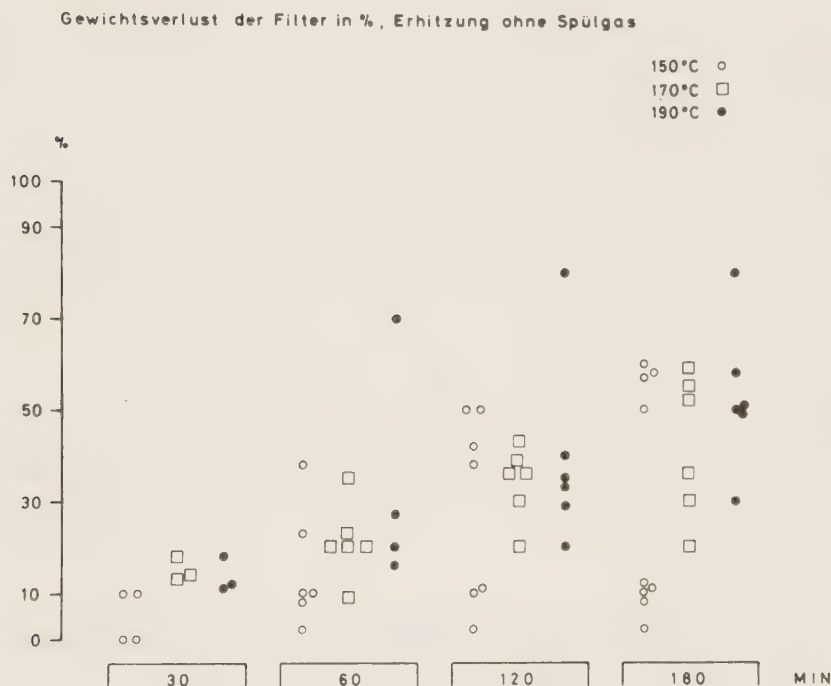


Abb.2: Einzelergebnisse der Erhitzung von 2l Aktivkohlefiltern ohne Spülgas im Sterilisator Heraeus 5050 bei den Temperaturen 150°, 170° und 190° C.

Auf der Ordinate ist der Gewichtsverlust der Filter in Prozent der durch Adsorption bedingten Zuladegewichts aufgetragen. Die Abszisse trägt die Zeit entsprechend den Zeitintervallen der Gewichtsbestimmungen. Die Erhitzung erfolgte in 3 Temperaturbereichen 150°, 170° und 190° C. Die Streuung der Ergebnisse ist erheblich. Es ist eine Desorption bis 70 % bei 190° C nach 60 Minuten möglich, als auch eine Desorption von nur 30 % bei 190° C nach 180 Minuten. Bei niedrigeren Temperaturen ist die Desorption geringer.
(2-60 % bei 150° C nach 180 Minuten)

3.3 Für die Untersuchung im Heißumluftbackofen wurden die 15 mit Halothane beladenen Filter in 3 Gruppen geteilt und bei 150° , 170° und 190° C untersucht. Die Gewichtsbestimmungen erfolgten alle 30 bzw. 60 Minuten. (Siehe Abbildung 3.)

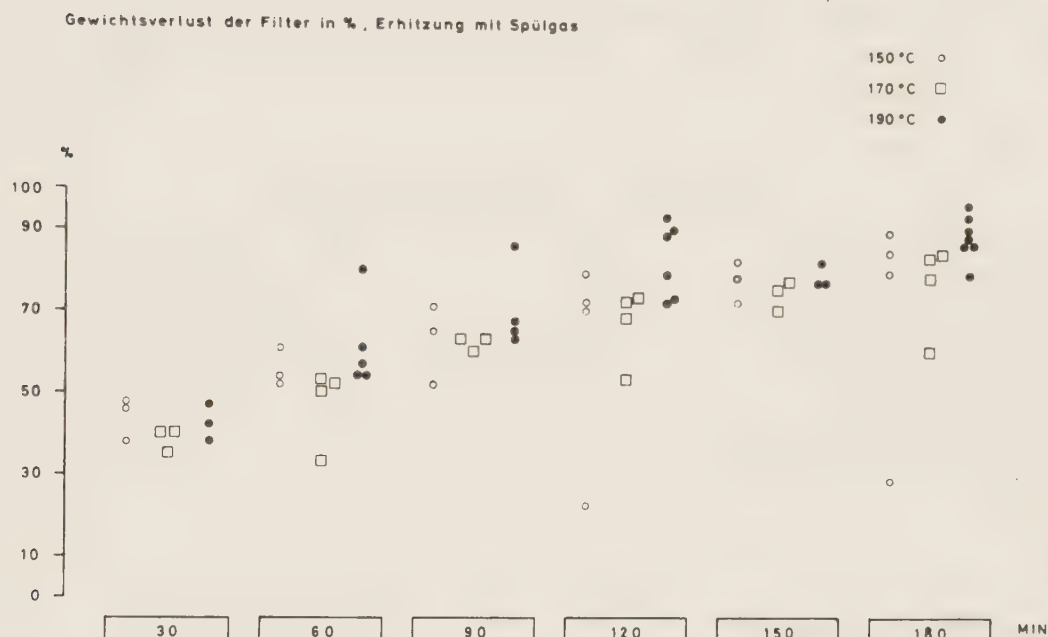


Abb.3: Gewichtsverlust im Heißumluftbackofen

Auf der Ordinate ist der Gewichtsverlust der Filter in Prozent des durch Adsorption bedingten Zuladegewichts aufgetragen.

Die Abszisse trägt die Zeit entsprechend den Zeitintervallen der Gewichtsbestimmung. Die Erhitzung erfolgte in 3 Temperaturbereichen 150° , 170° und 190° C.

Einige Filter desorbieren bis in den Bereich oberhalb 80 % sowohl bei 150° als auch bei 190° C.

Ein anderer Filter zeigte eine nur geringe Desorptionsrate von 28 % im Temperaturbereich von 150° C nach 120 Minuten Erhitzung.

Auch hier wurden die Gewichtsverluste in Prozent vom Gewichtszuwachs errechnet. Die höchste Desorptionsmenge lag hier bei einem Filter bei 95 % Zuladegewicht nach 180 Minuten Erhitzung auf 190° C. Andere Filter lagen bei gleichen Bedingungen zwischen 70 und 80 Prozent Desorptionsmenge. Wenn auch die Streuung der Desorptionsmenge erheblich ist, wird deutlich, daß die bewegte Luft einen fördernden Effekt hat. (siehe auch Tab. 1 und 2)

Erhitzung ohne Spülgas, Gewichtsverlust der Filter in Gramm																						
Min.	150°C									170°C						190°C						
0	320	302	281	295	320	285	310	350	330	340	330	280	272	310	290	279	275	320	330	290	280	
30	210	295	281	295									266	296	282	273	270	304				
60	310	285	280				280	340	320	330	310	270	263	282	278	269	267	296	260			
90			293			285																
120	210	275	279		310			270	300	280	300	300	270	257	276	267	262	262	284	250	270	270
180	310	261	275	290	310	284	270	280	270	300	300	270	250	263	257	254	253	268	250	260	265	
Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	

Erhitzung mit Spülgas, Gewichtsverlust der Filter in Gramm																				
Min.	150°C					170°C					190°C									
0	304	291	325	320		305	310	270	295		315	282	304	280	300	300	300			
30	274	268	280				278	256	269		275	262	273							
60	264	259	267			280	268	250	261		263	257	264	240	260					
90	256	253	258				260	246	254		256	249	256	235	240	235	240			
120	251	248	250	300		265	252	243	248		248	244	251	235	240	235				
150	246	247	247				250	242	245		245	242	247							
180	242	243	240			260	243	239	241		240	242	243	235	240	235	240			
Nr.	22	23	24	25		26	27	28	29		30	31	32	33	34	35	36			

Tab. 1: Filtererhitzung mit Gewichtsangaben in Gramm
Die Filter sind sowohl ohne (oberer Teil) als auch mit Spülgas (unterer Teil) erhitzt worden. Nach bestimmten Zeiten (Linker Außenrand) wurden die Filter gewogen. Zum Zeitpunkt 0 Minuten sind die Gewichte der nicht erhitzten Filter eingetragen. Die längste Erhitzungszeit war 180 Minuten. Die Filter sind in drei Gruppen 150°, 170° und 190° C eingeteilt und durchnummeriert. Den größten Gewichtsverlust konnte man mit Spülgas und 190° C Erhitzung erzielen. (siehe Filter 30-36) Das Frischgewicht betrug ca. 230 g. Kein Filter hat das Ausgangsgewicht erreicht s.a. Tab. 2. Einige Filter sind in größeren Abständen gewogen wurden (siehe Filter Nr. 5, 21, 25, 36 etc)

ERHITZUNG OHNE SPÜLGAS, GEWICHTSVERLUST DER FILTER IN PROZENT

Min.	150°C									170°C						190°C					
30	10	10	0	0									14	18	13	12	11	18			
60	10	23	2				38	8	10	9	20	20	21	35	20	20	16	27	70		
90			3		0																
120	10	38	2		11		50	42	50	36	30	20	36	43	38	35	29	40	80	33	20
180	10	57	12	8	11	2	50	58	60	36	30	20	52	59	55	51	49	58	80	50	30
Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Erhitzung mit Spülgas, Gewichtsverlust der Filter in Prozent

Min.	150°C					170°C					190°C						
30	46	38	47			40	35	40			47	38	42				
60	54	52	61			33	53	50	52		61	54	54	80	57		
90	65	52	71			63	60	63			69	63	65			86	
120	72	70	79	22		53	73	68	72		79	73	72	90	86	93	
150	78	72	82			75	70	77			82	77	77				
180	84	79	89	28		60	84	78	83		88	79	96	90	86	93	86
Nr.	22	23	24	25		26	27	28	29		30	31	32	33	34	35	36

Tab. 2: Filtererhitzung mit und ohne Spülgas bei verschiedenen Temperaturen; Gewichtsverlust in Prozent. Um die Wirkung auf die einzelnen Filter miteinander vergleichen zu können, wurden die Grammangaben der Tabelle 1 in Prozent umgerechnet. Die Angaben sind in Prozent Gewichtsverlust gemacht. Berücksichtigt wurde nur das Zuladegewicht, was mit 100 % der Ausgangswert war. Wurde das Zuladegewicht desorbiert, das Frischgewicht also wieder erreicht, so waren 100 % Gewichtsverlust erzielt worden. Die Tabelle entspricht im Aufbau der Tabelle 1., die Filternummern entsprechen einander. Die Prozentzahlen wurden auf- bzw. abgerundet zur ganzen Zahl.

3.4 Im Dampfvakuumsterilisator wurden jeweils 2 Filter, den beiden Sterilisierprogrammen unterzogen. Bei dem 120-Grad-Programm konnte keine Gewichtsänderung festgestellt werden. Bei dem 130- Grad-Programm lag der Gewichtsverlust zwischen 1 und 2 Prozent.

3.5 Im Äthylenoxidsterilisator konnte keine Gewichtsänderung eines beladenen Filters festgestellt werden.

Die Untersuchungen im Heißluftsterilisator und im Heißluftbackofen haben den fördernden Effekt der Erhitzung auf die Desorption gezeigt. Bewegte Luft, wie im Heißluftbackofen, ist der zweite fördernde Faktor.

Eine ausreichende Desorption, wie sie Capon nach 34 Minuten Erhitzung beschrieben hatte, konnte in keinem Fall beobachtet werden.

Nach Capon zeigten alle seine untersuchten Filter eine gleich gute Desorbierbarkeit.

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine große Streuung der Desorption bei gleicher Behandlung festgestellt.

Die Thermowaage

3.6 Die Untersuchung mit der Thermowaage zeigte, daß das beladene Aktivkohlekorn während der Aufheizung mit 6°C pro Minute Aufheizgeschwindigkeit Adsorpt freisetzte bis zu einer maximalen Desorptionsrate bei 120°C Celsius bei der Enfluranebeladung und einer maximalen Desorptionsrate bei 200°C bei der Halothanebeladung. In beiden Fällen war die Desorption bei 275°C abgeschlossen. Diese Temperatur wurde nach 45 Minuten erreicht. Es wurden 172,8 mg Halothane pro g Aktivkohle und 344,3 mg Enflurane pro g Aktivkohle desorbiert. (Abb. 4 u. Abb. 5)

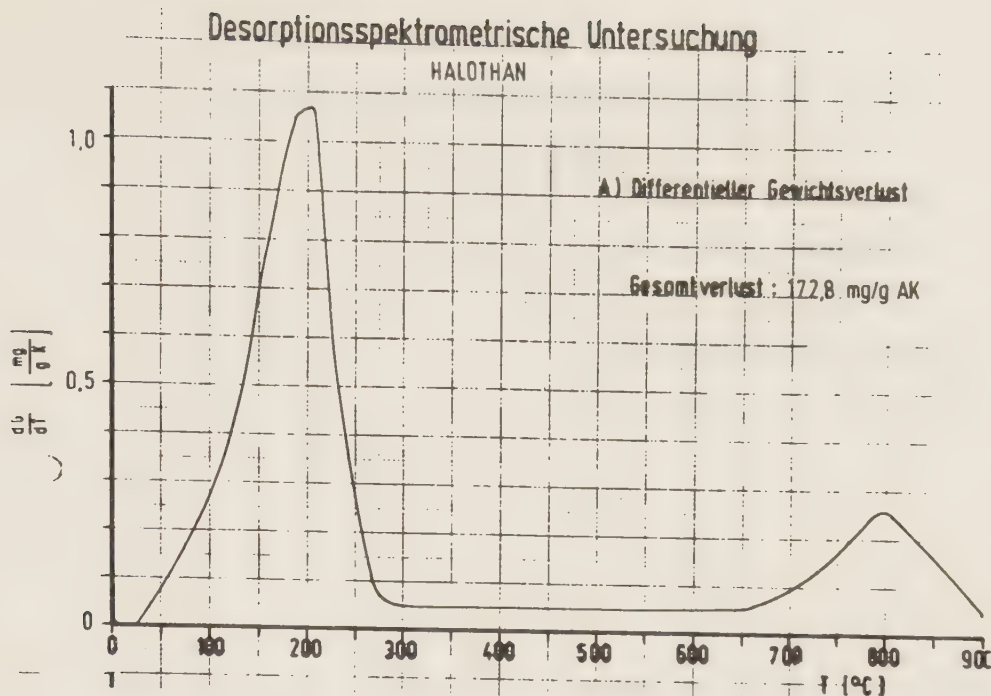


Abb.4: Desorptionsspektrometrische Untersuchung eines mit Halothane beladenen Aktivkohlekornes
Hier liegt die Photographie des Schreiberdiagrammes der "Thermowaage" vor.

Die Ordinate ist dimensioniert in freigesetztes Halothane in mg pro g Aktivkohle und pro Grad Kelvin Temperaturerhöhung. Die Abszisse enthält die Temperatur in Grad Celsius.

Die Erhitzung erfolgt mit der Geschwindigkeit 6 Grad Kelvin pro Minute.

Die Desorption ist nach 45 Minuten bei 275° C abgeschlossen. Die Gesamtdesorptionsmenge beträgt 172,8 mg Halothane pro g Aktivkohle. Die Temperatur der maximalen Desorption (T_{max}) liegt in dieser Untersuchung bei 200° C. Der zweite kleinere Gipfel bei 800° C wird nach Seewald (mündliche Mitteilung) nicht durch desorbiertes Halothane, sondern durch Oxidationsprodukte der Aktivkohle hervorgerufen.

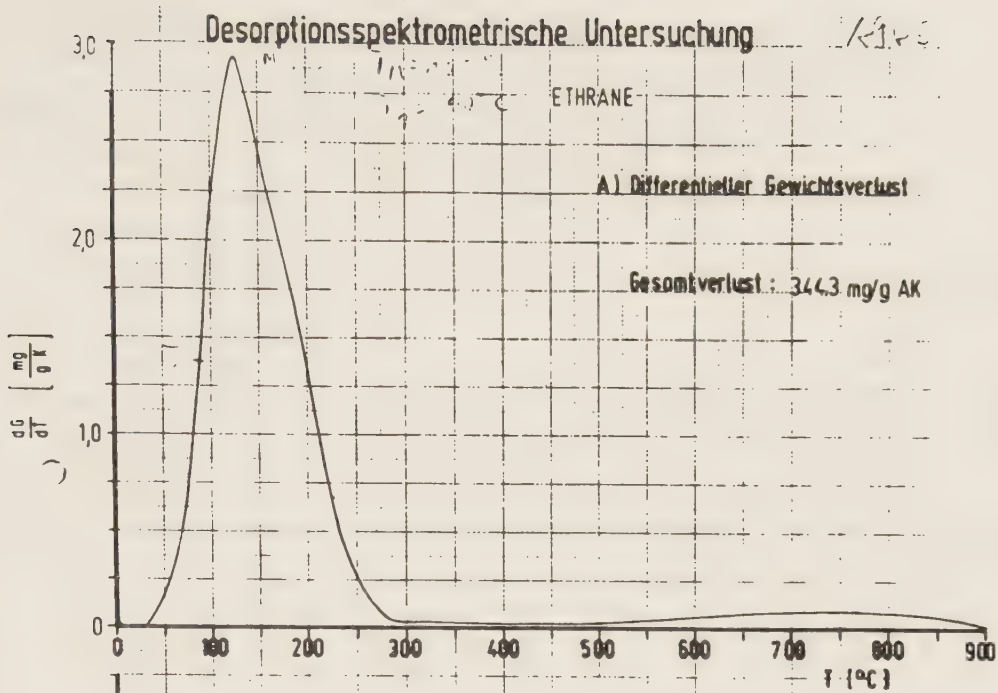


Abb.5 : Desorptionsspektrometrische Untersuchung eines mit Enflurane beladenen Aktivkohlekornes

Die Abbildung zeigt das Foto des Schreiberdiagramms der "Thermowaage". Die Ordinate ist dimensioniert in freigesetztes Enflurane in mg pro g Aktivkohle und pro Grad Kelvin Temperaturerhöhung. Die Abszisse enthält die Temperatur in Grad Celsius.

Die Erhitzung erfolgt mit der Geschwindigkeit 6 Grad Kelvin pro Minute.

Die Desorption ist nach 45 Minuten bei 275° C abgeschlossen. Die Gesamtdesorptionsmenge beträgt 344,3 mg Enflurane pro g Aktivkohle.

Die Temperatur der maximalen Desorption ($T_{\max}$) liegt bei 125° C.

Im zweiten Untersuchungsgang stellte sich heraus, daß die beiden Adsorptive Halothane und Enflurane die gleichen Desorptionsisothermen besitzen. Eine Erhitzung auf 120° C für 60 Minuten führte zu einer über 75 prozentigen Desorption. Der Rest wurde bei der weiteren Erhitzung bis 800° C desorbiert. Halothane und Enflurane zeigen die gleiche Desorptionsisotherme, (das heißt: desorbieren bei gleicher Temperatur und Beladung in gleicher Menge) erkennbar nach der Umrechnung auf 1 g Aktivkohle (Tabelle 3).

	HALOTHANE	ETHRANE
EINGESETZTE MENGE mg	876,6 mg	573,9 mg
SPÜLVERLUST mg	194,5 mg	86,5 mg
EINWAAGE	682,1 mg	487,4 mg
GEWICHTSVERLUST		
a) 120° C - 60 MINUTEN	176,0 mg	126,5 mg
UMRECHNUNG AUF		
1g AKTIVKOHLE	347,8 mg / AK	350,5 mg
b) 120 - 800° C MIT		
6° C PRO MINUTE	38,0 mg	54,4 mg
TEMPERATURANSTIEG		
UMRECHNUNG AUF	81,2 mg	79,2 mg
1g AKTIVKOHLE		

Tab.3

Untersuchungsergebnis einzelner beladener Aktivkohlekörner

Eingesetzte Menge	Das Aktivkohlekorn, das aus dem Filter genommen wurde und auf die Heizwindung der Thermowaage gelegt wurde
Spülverlust	Die Menge Adsorpt, die losgelöst wurde durch die Vorspülung bei 20 Grad Celsius über 20 Minuten mit 13 l/min Helium.
Einwaage	Gewicht der Aktivkohlekorns zu Beginn der Erhitzung nach Spülverlust
Gewichtsverlust	Die Menge Adsorpt, die unter Erhitzung a) bei 120° Grad Celsius abgelöst wurde b) bei 120-800° Grad Celsius abgelöst wurde.
Umrechnung auf 1g Aktivkohle	Um die Mengen untereinander vergleichen zu können, wurden sie auf 1g Aktivkohle umgerechnet.

Es wurden hier Aktivkohlekörner aus Narkotikafiltern genommen, die über den Durchbruchpunkt hinaus (Durchbruch = Filtererschöpfung) beladen worden sind. Halothanebeladener Filter = 396 g, Ethranebeladener Filter = 388 g, Frischgewicht 230 g, Durchbruchsgewicht ca. 340 g. Die Spülung soll dasjenige Adsorpt ablösen, das so schwach gebunden ist, daß es bei Raumtemperatur allein durch die Spülwirkung losgelöst wird. Die Umrechnung war erforderlich, da unterschiedlich schwere Aktivkohlekörner zur Einwaage kamen.

Das folgende Diagramm (Abb. 6) zeigt die Desorptionsisotherme von Enflurane bei 120° C. Es ist erkennbar, daß 30 Minuten nach Erreichen von 120° C, die Desorption zum größten Teil abgeschlossen ist. Die Halothanisotherme zeigt ein ähnliches Verhalten (Tab. 3).

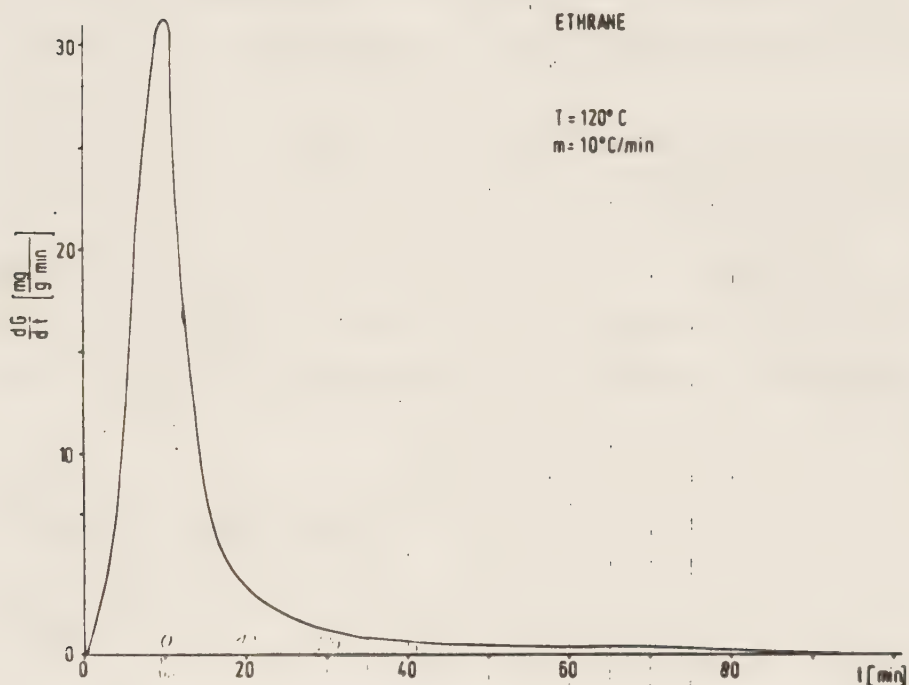


Abb. 6: Enflurane-Desorption von einem Aktivkohlekorn bei 120° C

Das Foto zeigt das Schreiberdiagramm .

Die Ordinate trägt mg desorbiertes Enflurane pro g Aktivkohle und pro Minute, die Abszisse stellt die Zeitachse dimensioniert in Minuten dar.

Die Kurve beginnt bei 20° mit der Aufheizung des Aktivkohlekorns bis 120° C mit einer Geschwindigkeit von 10° C pro Minute. Diese Temperatur ist nach 10 Minuten erreicht. Die Kurve zeigt in diesem Punkt ihr Maximum. Nach weiteren 30 Minuten ist der größte Teil desorbiert.

4. Diskussion =====

4.1 Kohleformen

Aktivkohlen werden unterschieden in körnige und pulverförmige.

Die Pulverform findet Anwendung in der Flüssigphasenadsorption. In der Gastechnik werden die körnigen Formen bevorzugt. Bruchkorn ist wegen der unregelmäßigen Form weniger abriebfest und wegen der Staubbildung in der Narkosetechnik nicht verwendbar.

Zylindrische Formlinge werden hinsichtlich Abriebfestigkeit und geringen Strömungswiderstandes bevorzugt (Seewald). Die hier verwendeten Kohlezylinder mit den Ausmaßen 1x3 mm erlauben einen guten Zugang zur Mikroporenstruktur der Aktivkohle, was sich auf die Adsorptionskapazität förderlich auswirkt.

4.2 Desorptionsverhalten

Allgemeines

In der Adsorption werden mittels der Oberflächenkräfte Halothane und Enflurane ohne chemische Veränderung an die Mikroporen der Aktivkohle gebunden (Seewald). Durch Temperaturerhöhung und möglichst starke Reduktion der Adsorptivkonzentration über den Bindungsstellen durch Gasströmung läßt sich die Desorption fördern. Die Temperaturerhöhung sollte bis mindestens 120° C erfolgen; ein ausreichend starker Spülgasflow entfernt das abgelöste Adsorpt, fördert somit die Desorption und verhindert eine Rückreaktion mit anderen Adsorbensbindungsstellen. (Seewald, Jüntgen 1977). Die Untersuchungen mit

der Thermowaage zeigten, daß die Desorption bei 120° C sowohl bei Halothane- als auch bei Enfluranebeladung zum größten Teil (75 %) möglich ist. Der Unterschied in der Temperatur der maximalen Desorption (120 Grad, 200 Grad) bei nicht isothermer Beheizung, läßt sich auf die unterschiedliche Beladungsmenge zurückführen. Mit zunehmender Beladung verschiebt sich die Temperatur der maximalen Desorptionsrate zu niedrigeren Werten. Geringe Stoffmengen erscheinen relativ fest gebunden und desorbieren deshalb erst bei höheren Temperaturen (Seewald, Jüntgen 1977).

Untersuchungsergebnisse

Die Sterilisatoren des Klinikbetriebes Heißluftsterilisator Heraeus, Dampfvakuumsterilisator MMM Selectomat und der Äthylenoxidsterilisator zeigten sich ungeeignet, beladene Narkotikafilter von Dräger in ausreichendem Maße zu regenerieren. Die größte Desorptionsmenge von ca. 80 % konnte mit dem Heißluftsterilisator Heraeus erst nach 180 Minuten Erhitzung auf 190° C erzielt werden. Obgleich das Dampfvakuumverfahren -nach den Angaben Capons-, geeignet erschien, die notwendigen Desorptionskriterien zu erfüllen, war hier in diesen Untersuchungen keine Desorption festzustellen. Vermutlich war die Desorptionsenergie zum Zeitpunkt des Vakuums zu gering, da gleichzeitig die Temperatur stark abfiel, so daß die Dispersionskräfte wieder überwiegen. Die konkurrierenden Einflüsse der Dispersionskräfte (Dubinin 1960) zwischen Adsorpt und Kohleoberfläche und die temperaturabhängigen Molekularbewegungen, die bei Zunahme die Adsorptbindung schwächen, können das Filterverhalten bei unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlicher

Luftbewegung sei es durch Vakuum oder Spülgasflow erklären.

Die Narkotikafilter von Dräger könnten regeneriert werden, wenn sie 30 Minuten lang bis ca. 120°C erhitzt würden unter gleichzeitiger Anwendung eines ausreichend starken Spülgasflows.

Die Temperatur von 120°C ist wie der 2. Versuch in der Thermowaage gezeigt hat, sowohl im Falle der Halothane-, als auch im Falle der Enflurane-beladung ausreichend.

Seewald und Jüntgen sprechen von energetischer Heterogenität der Adsorbensbindestellen im Zusammenhang mit unterschiedlicher Beladungsmenge und Beladungsdauer. Das bedeutet, daß bei größerer Beladung die Aktivkohle schon bei niedrigeren Temperaturen desorbiert und daß die Desorptionstemperatur um so tiefer gewählt werden kann, je kürzer der Abstand zwischen Beladung und Desorption ist.

Die Erklärung für dieses Phänomen wird auf der einen Seite in der Mobilität des Adsorbats gesehen, das abhängig von Zeit und Menge zu Stellen höherer Bindungsenergie diffundiert.

Auf der anderen Seite werden chemische Umwandlungen des organischen Adsorbats durch katalytische Reaktionen der Kohleoberfläche für möglich gehalten.

Dies wird der Grund für die große Streuung der Untersuchungsergebnisse sein. Je älter die beladenen Filter sind, die zwecks Regenerierung erhitzt werden, umso geringer fällt die Desorptionsrate aus, da Dispersionskräfte und chemische Umwandlungen zugenommen haben (Seewald, Jüntgen sowie Rüb).

Geräteempfehlung

Ein Gerät, das Narkotikafilter von Dräger regenerieren kann, sollte folgende Eigenschaften haben.

- 1) Erhitzung bis 120° Grad Celsius
- 2) Erhitzungsdauer von mindestens 30 Minuten
- 3) Einen "idealen" Spülgasflow (z.B. 13 l/Min) oberhalb dessen die Desportionsrate unverändert bleibt.

Der Regenerierungserfolg läßt sich durch Gewichtsbestimmung direkt ablesen.

Deutung der Capon-Ergebnisse

Der Desorptionserfolg von Capon mit Hilfe des Sterilisators "Drayton und Castle MK8" - Erhitzung bis 134° C mit Vakuumphasen über einen Zeitraum von 2 mal 17 Minuten - erscheint nach den vorliegenden Untersuchungen nur möglich, wenn die Temperatur auch während der Vakuumphasen konstant bei 134° C bleibt. Nur so scheinen die Adsorptionskräfte zwischen Adsorbens und Adsorbat klein genug zu sein, daß sie von der saugenden Kraft des Vakuums überwunden werden können.

4.3 Desorption in der Industrie

In der Industrie wird Aktivkohle vielfältig angewendet, (Rüb, 1975) z.B. bei der Rückgewinnung von Lösungsmitteln, Trennung von Gasgemischen, Treibstoffgewinnung aus Erdgas, Feinentschwefelung von Synthesegas usw. Hier wird die beladene Aktivkohle im Gegenstrom zur Beladerichtung mit 100° C heißem Wasserdampf

durch Desorption regeneriert. Nach dem Trennverfahren kann das Lösungsmittel der Wiederverwendung (Recycling) zugeführt werden.

4.4 Zur Frage des Halothanrecyclings

Würde Halothan auf diesem Wege zurückgewonnen, müßte vor einer Wiederverwendung eine Analyse der Desorptionsprodukte durchgeführt werden. Bei Kontakt eines halothanehaltigen Gasgemisches mit heißen Metalloberflächen laufen katalytische Reaktionen ab, die zu mindestens fünf verschiedenen Produkten führen (Kosfeld). Toxikologische und quantitative Gesichtspunkte sind nicht untersucht worden.

Über Enflurane und Isoflurane liegen keine Untersuchungen vor.

Zusammenfassung

Capon hatte 1974 eine Methode zur Regeneration von Narkotikafiltern durch Erhitzung in einem Autoklaven beschrieben. Es handelte sich um Filter für volatile Anästhetika z.B. Halothane, Ethrane.

Diese Regeneration war in einem Autoklaven mit Hilfe eines pulsatilen Vakuums nach 2 mal 17 Minuten Erhitzung durchgeführt worden. Die Filter waren wiederholt auf dieser Weise be- und entladen worden.

Fragestellung dieser Arbeit war, ob dies mit den klinischen üblichen Sterilisatoren Selectomat MMM 1000, Heraeus 5050 oder einem Äthylenoxidsterilisator beim Dräger Narkotikafilter auch möglich ist und ob sich die Desorptionsparameter definieren lassen.

In der Untersuchung stellte sich heraus, daß der Dampf vakuumsterilisator MMM Selectomat 1000 und der Äthylenoxidsterilisator die Dräger narkotikafilter nicht desorbieren konnten.

Im Heißluftsterilisator Heraeus 5050 wurden 9 Narkotikafilter desorbiert nach 60 Minuten zwischen 2 und 38 % bei 150° C. Nach 120 Minuten waren diese 9 Filter zwischen 2 und 50 % bei 150° C desorbiert.

6 Filter zeigten bei 190° C nach 60 Minuten Desorptionsraten zwischen 16 und 70 % und nach 120 Minuten zwischen 29 und 80 %.

Wegen der Unsicherheit des Desorptionsausmaßes und der langen Erhitzungszeit von 120 Minuten läßt sich dieses Verfahren für die Klinik nicht empfehlen.

Bei der Einzelkornuntersuchung in einer Thermowaage konnten die Desorptionsparameter bestimmt werden. Mit

Hilfe einer ca. 30 minütigen Erhitzung auf 120° C in Verbindung mit einem gleichzeitigen Spülgasflow ließ sich das Einzelkorn zu 75 % desorbieren.

Ein Gerät, das mit diesen Eigenschaften arbeitet, wäre dem zufolge in der Lage, Narkotikafilter von Dräger genügend zu regenerieren.

Mit Hilfe der Gewichtsbestimmung kann der Regenerierungserfolg kontrolliert werden.

Die Erhitzungsvakuumbehandlung war in dieser Untersuchung nicht erfolgreich; die Ergebnisse von Capon konnten nicht nachvollzogen werden. Sie erscheinen trotzdem möglich, wenn die pulsatile Vakuumbehandlung ohne Temperaturabfall zur Anwendung gekommen ist.

Zusammenfassung der Arbeit über

Die thermische Regeneration von Aktivkohle- filtern nach Gebrauch zur Halothane- und Enfluraneadsorption

Capon konnte 1972 zeigen, daß Aktivkohlefilter zur Adsorption von volatilen Anästhetika durch Erhitzung in einem Autoklaven 2 mal 17 Minuten und durch die Anwendung von pulsatilem Vakuum regeneriert werden konnten.

Dieses Verfahren konnte mehrmals (ca. 50 mal) an einem Filter durchgeführt werden.

Diese Arbeit sollte prüfen, ob die Narkotikafilter von Dräger mit Hilfe der in Düsseldorf üblichen Sterilisatoren ähnlich regeneriert werden könnten. Desorptionsparameter sollten definiert werden.

Der MMM-Selectomat 1000 (Dampfvakuumsterilisator) und der Äthylenoxidsterilisator konnten die Drägerfilter nicht regenerieren

Der Heraeus 5050 (Heißluftsterilisator) konnte die Drägerfilter teilweise regenerieren.

Es wurden 3 Temperaturen 150, 170 und 190° C untersucht.

Die Desorptionsraten streuten soweit, daß nur Trends aufgezeigt werden konnten. Steigende Temperaturen, längere Erhitzungszeiten und die Störung der Konzentrationsgleichgewichtes über den Bindestellen der Aktivkohle (durch Spülgasflow, Sterilisator öffnen) förderten die Desorption. Der Heißluftsterilisator Heraeus zeigte folgende Werte:

150° C und 60 Minuten desorbiert 2 bis 38 %

150° C und 180 Minuten desorbiert 2 bis 50 %

190° C und 60 Minuten desorbiert 16 bis 70 %

190° C und 120 Minuten desorbiert 29 bis 80 %

Die Untersuchung im Heißluftbackofen zeigte bei ansonsten gleichen Parametern höhere Desorptionsraten vermutlich

durch die zusätzliche Luftspülung.

In der Klinik kann dieser Weg wegen der langen Erhitzungszeiten (hoher Energieverbrauch, Filterpreis 16 DM) und der unsicheren Desorptionsrate nicht empfohlen werden.

Mit Hilfe der Thermowaage, die ein Aktivkohlekorn als kleinste Aktivkohlefiltereinheit mit genau definierten Aufheizgeschwindigkeiten bis 800 und einem Spülgasflow zwischen 12 und 20 l/Min behandelte, konnten die Desorptionsparameter aufgezeigt werden: 75 % Desorption bei 120 Erhitzung 30 Minuten lang mit Spülgasflow von 12 l/Min.

Ein Gerät wie ein Heißluftföhn mit einer Aufheiztemperatur bis 120 könnte sich für den klinischen Einsatz praktikabel zeigen.

Die Ergebnisse von Capon konnten nicht nachvollzogen werden.

Wenn die pulsatile Vakuumbehandlung der Filter ohne Temperaturabfall zur Anwendung gebracht würde, erschiene eine ausreichende Desorption der Narkotikafilter möglich. (Capon pers. Mitteilung)

Literaturverzeichnis

1. Askrog V.,
Harvald B.,
Teratogen effect of inhalations-
anaestetika
Sartyk Nord Med 3, 490-500, (1970)
English Summary
2. Basford, B. Alice
Fink, B. Raymond
The teratogenicity of halothane
in the rat
Anesthesiology 29, 1167-1173 (1968)
3. Belfrage, Sven
Ahlgren, Ingemar
Axelson, Stig.
Halothanhepatitis in anaesthetists
Lancet II., 1466 (1966)
4. Bruce, David L.
Eide, K. Ane
Linde Harry, W.
Eckenhoff James, E.
Causes of death among
anesthesiologists
Anesthesiology 29, 565, (1968)
5. Capon, J. H.
A method of regenerating
activated charcoal anaesthetic
adsorbers by autoclaving
Anaesthesia, 29, 610-614, (1974)
6. Cohen Ellis N.
Bellville J. Weldon
Brown Byron W. J.
Anesthesia, pregnancy,
and miscarriage:
A study of operating room
nurses and anesthetists
Anesthesiology 35, 345-347, (1971)
7. Dubinin M.M.
The potential theory of adsorption
of gases and vapors for adsorbents
with energetically non uniform
surfaces
Chem. Reviews 60, 235 (1960)
8. Dudziak, R.
Lehrbuch der Anästhesiologie
F.k. Schattauer Verlag
Stuttgart-New-York 1980
S. 187-188
9. Dykes, Michael
Bunker, John P.
Hepatotoxicity and anesthetics
Pharmacol Physicians 4, 1, (1970)
10. Eichler, J.
Kukulinus, K.
Naumann, P.
Über das Aufnahmevermögen
von Halothanfiltern
Anäst. Inform. 4, 123 (1972)
11. Hallen, B.
Ehrner-Samel, H.
Thomason, M.
Measurements of halothane in
the atmosphere of an operating
theatre and in expired air and
blood of the personnel during
routine anaesthetic work
Acta Anaesthesiol Scand.
14, 17-27 (1970)

12. Henschler, D. Halothan
Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe,
Toxikologische arbeitsmedizinische
Begründung von MAK Werten
Verlag Chemie, Weinheim, 1979

13. Jüntgen Grundlagen der Adsorption
Staub, Reinhalt. Luft
Bd. 36, 281-324 (1976)

14. Klatskin, G. Recurrent hepatitis attributable to
Kimberg, D. V. halothane sensitization in an anesthetist
N. Engl. J. Med. 280, 515 (1969)

15. Kosfeld, R. Über die Veränderung des Inhalations-
Heß, M. narkotikums Halothane durch geheizte
Schlingen, R. Wasserdampfbefeuchter
Kalff, G. Anaesthesiologie und Intensivmedizin
Bd. 130, 25 Jahre DGAI
(Hrsg. K. H. Weis und G. Cunitz)
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg,
New York 1980
S 123-128

16. Lindenbaum, John Hepatic necrosis associated with
Leifer, Edgar halothane anesthesia
N. Engl. J. Med.
268, 525, (1963)

17. Rüb, F. Möglichkeiten der Stoffrückgewinnung
bei der Reinigung lösungsmittelhaltiger
Abluft durch Aktivkohle
Wass. Luft Betr.
2 (1975)

18. Seewald, H. Technisch verfügbare Adsorbentien
Haus der Technik- Vortragsveröffent-
lichung 404, (1978)

19. Seewald, H. Kinetik der nicht isothermen Desorption
Jüntgen, H. organischer Stoffe von Aktivkohlen
Ber. Bunsenges Phys. Chem.
Bd. 81 Nr.7, (1977)

20. Vaughan, R.S. Prevention of pollution of
Mapleson, W.W. operating theatres with
Mushin, W.W. halothane vapour by adsorption
with activated charcoal
Brit. Med. J. 1, 727-729 (1973)

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. M. Zindler für die
Überlassung des Themas und für die wertvollen An-
regungen bei der Durchführung der Untersuchung
und Fertigstellung der Arbeit.

Lebenslauf

Wolfgang Dierkes, geboren am 7.11.47 in Siegen als Sohn der Eheleute Clemens und Sophia Dierkes. Humanistische Ausbildung bis zur Hochschulreife an der Bachschule, Stiftsschule und dem Beethoven-Gymnasium in Bonn.

1966 Zeugnis der Reife

1967 Wehrdienst

1968 bis 1975 Medizinstudium in Köln und Essen bis zum Staatsexamen

Nach der Medizinalassistentenzeit Anästhesieausbildung im St. Josef-Krankenhaus Essen-Kupferdreh.

Ab Februar 1978 Ausbildung im Institut für Anästhesiologie der Universität Düsseldorf (Leiter: Prof. Dr. med. M. Zindler)
Facharztprüfung 1980.

